

УДК 621.91:658.512+621.91:004.8

В.В. ФРОЛОВ, Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ

**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ФОРМИРОВАНИЮ МАРШРУТОВ
ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В статье рассмотрена возможность определения тенденции изменения точности обработки на основе оптимизационной модели коэффициента уточнения с использованием генетического алгоритма для поиска частных коэффициентов уточнения, составляющих маршрут обработки и удовлетворяющих условию оптимальности.

In paper the possibility of definition of a trend of a modification of an exactitude of machining surveyed on the basis of optimization model of coefficient of refinement with usage of genetic algorithm for searching private coefficients of the refinement, component an itinerary of machining and fulfilling to a condition of an optimality.

Маршрут обработки поверхности в технологии машиностроения принято назначать либо на основании типовых маршрутов зафиксированных в руководящих технических материалах предприятия, либо на основе анализа связей между параметрами качества, изменяющимися по ходу технологического процесса. Для последнего разные авторы используют два показателя уточнение и передаточное отношение. Уточнение – это отношение параметра качества заготовки к параметру качества детали, которое, например, для допуска размера определяется по формуле 1

$$K_{ym} = \frac{T_{заг}}{T_{дем}} \quad (1)$$

где K_{ym} – коэффициент уточнения; $T_{заг}$ – допуск на размер заготовки; $T_{дем}$ – допуск на размер детали.

Передаточное отношение величина обратная коэффициенту уточнения. Маршрут обработки в этом случае представляется последовательным произведением коэффициентов уточнения для каждого технологического перехода, в результате, получается общий коэффициент уточнения всего маршрута обработки (см. формулу 2).

$$K_{ym} = \prod_{i=1}^n K_{ymi} \quad (2)$$

где n – количество переходов в маршруте.

Обычно задается точность детали и заготовки, следовательно, остается подобрать переходы таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\frac{T_{заг}}{T_{дем}} \leq \prod_{i=1}^n K_{ymi} \quad (3)$$

Сложность формирования последовательности переходов в этом случае заключается подборе методов с определенными коэффициентами уточнения.

На данный момент нет однозначного, формализованного решения этой задачи, и подбор ведется на основе проб и ошибок.

Возможное направление для формализации этой задачи видится в применении при подборе коэффициентов уточнения методов оптимизации. В теории нейронных сетей при обучении нейрона применяется функция ошибки, которая показывает, насколько реальный результат срабатывания нейрона отличается от эталона, поданного на вход при его обучении. Во время обучения стремятся добиться минимума функции ошибки, решая оптимизационную задачу. Такой же подход можно применить для подбора коэффициентов уточнения. Согласно вышеуказанному, функция ошибки для данной задачи будет представлена формулой 4

$$E = [Ky_{base} - Ky_{sol}]^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

где E – функция ошибки обучения; Ky_{base} – эталонное значение коэффициента уточнения, полученное на основе граничных значений точности размеров заготовки и детали; Ky_{sol} – расчетное значение коэффициента уточнения, полученное подбором коэффициентов уточнения для каждого перехода. С учетом того, что это значение представлено произведением неизвестных коэффициентов уточнения получим следующую функцию 5

$$E = [Ky_{base} - x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \times \dots \times x_n]^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

Имеем в 5 функцию со многими переменными, для которой необходимо выбрать метод оптимизации. Существует большое количество методов для поиска минимума многомерной зависимости, но наиболее эффективным на сегодняшний день является метод, использующий генетический алгоритм.

Чем больше переменных, тем сложнее определить минимум функции, поэтому определим какое граничное число неизвестных коэффициентов уточнения, может присутствовать в функции ошибки. Здесь необходимо проанализировать, какое количество переходов может присутствовать в маршруте. Механическая обработка ведется в диапазоне квалитетов от 5 до 14, всего 10 квалитетов. По разным данным при переходе через один квалитет коэффициент уточнения для большинства диапазонов размеров находится в окрестности значения 1.5. Если исходить из того, что каждый переход уточняет размер на один квалитет, то получится 10 обработок, но в общем машиностроении чаще всего уточнения может быть больше чем на один квалитет. Из практики проектирования и внедрения технологических процессов можно остановиться на шести переходах, тогда функция ошибки будет выглядеть так 6

$$E = [Ky_{base} - x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6]^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

Переменные данной функции имеют ограничения: 1. Уточнение не может меньше чем на один квалитет; 2. Каждый последующий коэффициент должен быть меньше предыдущего, т.е. черновые переходы уточняют больше, а чистовые меньше. Все это приводит к решению задачи поиска миниму-

ма функции при ограничениях 7

$$E = \left[Ky_{base} - \prod_{i=1}^6 x_i \right]^2 \rightarrow \min$$

$$\Omega: \quad x_i \geq x_{i+1} \quad i \in [1, 5];$$

$$x_j \geq 1.5 \quad j \in [1, 6].$$
(7)

Проанализируем возможности использования данной функции для формирования маршрутов обработки элементарных поверхностей. Поиск минимума функции производится с помощью генетического алгоритма в системе MatLab 2007, поэтому преобразуем математическую модель к виду необходимому для решения 8 с помощью этой системы:

$$E = \left[Ky_{base} - \prod_{i=1}^6 x_i \right]^2 \rightarrow \min$$

$$\Omega: \quad -1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \leq 0$$

$$0 \cdot x_1 + -1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \leq 0$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + -1 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \leq 0$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + -1 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \leq 0$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + -1 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 \leq 0$$

$$x_1 \geq 1.5; x_2 \geq 1.5; x_3 \geq 1.5; x_4 \geq 1.5; x_5 \geq 1.5; x_6 \geq 1.5$$
(8)

В системе функция ошибки представляется специальной функцией, а ограничения и вызов генетического алгоритма представляется в виде m – файла, представленных на рисунке 1

```
function f = model002(x)
f = (80 - x(1)* x(2)* x(3)*x(4)*x(5)*x(6))^2;
clc;
clear;
% Задаем функцию оптимизации
fitnessFunction = @model002;
% Количество переменных равно удвоенному количеству переходов
nvars = 6;
% Ограничения в виде линейных неравенств
Aineq = [-1 1 0 0 0 0; 0 -1 1 0 0 0; 0 0 -1 1 0 0; 0 0 0 -1 1 0; 0 0 0 0 -1 1];
Bineq = [0; 0; 0; 0; 0];
% Ограничения в виде линейных равенств
Aeq = [];
Beq = [];
% Границы изменения переменных
LB = [1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5];
UB = [];
% Нелинейные ограничения
nonlconFunction = [];
% Начинаем вычисления с опций по умолчанию
options = gaoptimset;
% Модифицируем параметры алгоритма
options = gaoptimset(options,'Display' , 'off');
% Запускаем алгоритм для расчета
[X,FVAL,REASON,OUTPUT,POPULATION,SCORES] = ga(fitnessFunction,nvars,Aineq,Bineq,Aeq,Beq,LB,UB,nonlconFunction,options);
disp('x=');
disp(X);
disp('fval=');
disp(FVAL);
```

Рис. 1 – Исходный текст программы минимизации, для шести переменных.

Зададим точность размера заготовки 1300 мкм, а точность размера детали 13 мкм, и проведем моделирование, результаты которого представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты моделирования

								Ку
Допуски расчетные	1300	290.83	121.18	65.15	37.66	22.02	13.03	
Расчетные	4.47	2.4	1.86	1.73	1.71	1.69		99.76
Допуски реальные	1300	330	130	52	33	21	13	
Реальные	3.94	2.54	2.5	1.58	1.57	1.62		100
Квалитеты	16	13	11	9	8	7	6	

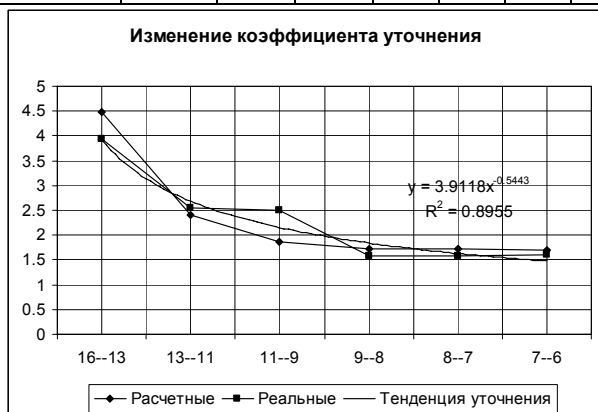


Рис.2 – График изменения уточнения на основе функции ошибки

Из графика следует, что тенденция изменения коэффициентов уточнения по переходам соответствует реальным требованиям производства. Здесь можно предложить следующий маршрут: черновое точение; получистовое точение; чистовое точение; черновое шлифование; чистовое шлифование; тонкое шлифование. Но при этом необходимо заметить, что данная функция отражает только тенденцию изменения коэффициента. Эта тенденция будет зависеть от величины базового коэффициента уточнения, чем он меньше, тем более будет выравнивать кривая тренда на рисунке 2. Зададим изменение базового коэффициента уточнения в диапазоне от 100 до 10, и рассмотрим результаты подбора коэффициентов уточнения с помощью функции ошибки на рисунке 3. Анализ графика показывает, что тенденция постепенного приближения к точности зависит от оптимального соотношения базового коэффициента уточнения и количества переходов. Отметим, что коэффициент уточнения не зависит от диапазона размеров, так как, например уточнение на 10 квалитетов для диапазона от 18 до 30 равно 100, и для диапазона от 6 до 10 равно 100, следовательно, можно проводить моделирование на одном диапазоне размеров, а результаты будут справедливы для всех остальных.

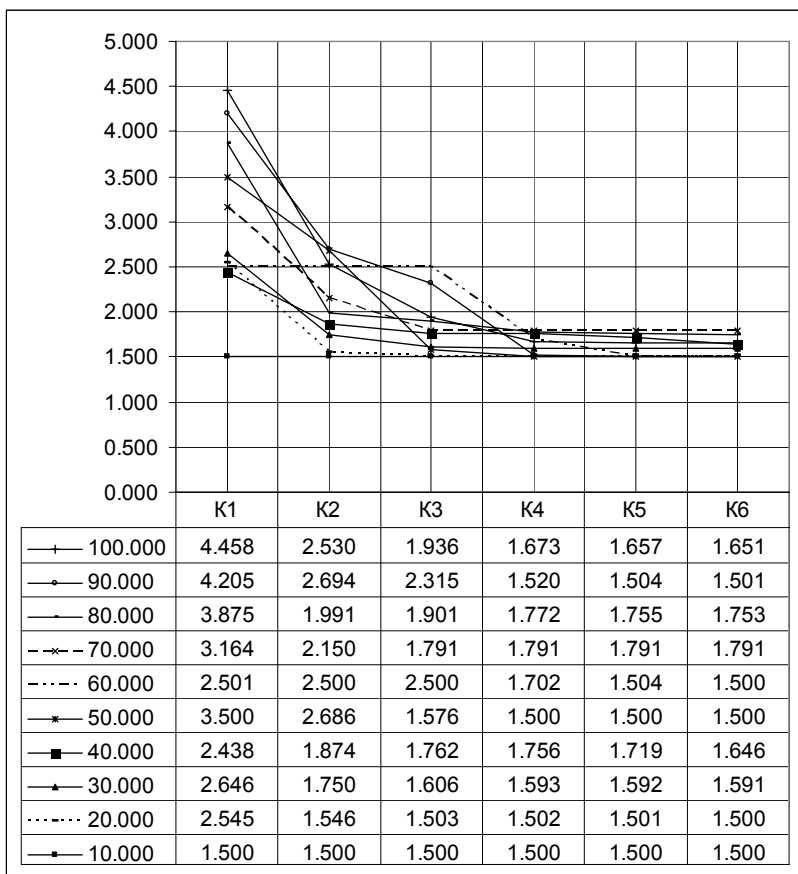


Рис. 3 – Тенденции изменения коэффициентов уточнения

Наиболее эффективно применять 6 и 5 переходов при базовом коэффициенте уточнения от 50 до 100, а 4 и 3 перехода при базовом коэффициенте уточнения от 10 до 40. Все это доказывает, что функцию ошибки можно применять для выбора маршрутов обработки на начальном этапе проектирования, когда необходимо определить тенденцию изменения точности при обработке элементарной поверхности. Данную математическую модель можно положить в основу методики проектирования маршрутов обработки элементарных поверхностей. В этом случае методика должна состоять из двух этапов: формирование множества решений; отбор необходимых решений для конкретной ситуации.

Поступила в редколлегию 26.12.08